

DESCRIPCIÓN DE LA NOCIVIDAD DEL CROMO PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA CURTIEMBRE Y DE LAS POSIBLES FORMAS DE REMOVERLO

Álvaro Chávez Porras*

Recibido: 26/09/2008

Aceptado: 08/10/2010

RESUMEN

Los diversos compuestos de cromo (Cr) representan una gran amenaza al ambiente y al hombre debido a sus efectos nocivos. Las intoxicaciones se manifiestan en lesiones renales, gastrointestinales, del hígado, del riñón, de la glándula tiroides y la médula ósea, y la velocidad corporal de eliminación es muy lenta. Las industrias de curtiduría de pieles utilizan sales de Cr en sus procesos, que generan cantidades de efluentes líquidos con alto contenido de este metal, el cual, debe ser removido a fin de cumplir con la legislación ambiental. En esta revisión se presenta una descripción de algunas de las técnicas de remoción como la electrolítica o electrodeposición; el intercambio iónico; la precipitación y los sistemas biológicos. Cada una de ellas ofrece una solución práctica y viable en términos económicos, ambientales y de mejoramiento continuo de los procesos, permitiendo pensaren una producción sostenible y responsable.

Palabras clave: curtiembre, tecnologías de remoción, contaminación ambiental, metales pesados.

* Ingeniero industrial. Doctor en Ingeniería Civil. Docente investigador, UMNG. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: alvaro.chavez@unimilitar.edu.co.

DESCRIPTION OF CHROME TOXICITY FROM THE TANNERY INDUSTRY AND POSSIBLE WAYS OF REMOVING IT

ABSTRACT

The various chromium (Cr) compounds represent a major threat to both environment and human beings, due to its harmful effects. Toxicity is shown in kidney, gastrointestinal tract, liver, thyroid glands, and in the marrow; and body elimination speed is very slow. Tannery industries use Cr salts in their processes, generating large amounts of liquid effluents with high content of this metal; which should be removed in order to comply with existing environmental legislation. This study provides a description of techniques such as electrolytic removal or electroplating, ion exchange process; process of precipitation; and biological systems. Each one of them offers a practical and feasible solution in terms of economy, environment, and continuous improvement of processes, which allows thinking of a sustainable and responsible production.

Key words: tannery, removal technologies, environmental pollution, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

La curtición es el proceso mediante el cual se convierten las pieles de los animales (bovinos, ovinos y porcinos). Una de las principales preocupaciones relacionada con su procesamiento es el uso de técnicas de producción que disminuyan la contaminación residual, sea sólida o líquida. En el proceso de pieles saladas, sólo una parte es transformada en cuero; el resto es eliminado bajo forma de desecho sólido o como efluente en solución [1].

La dificultad que presenta el uso de sales de Cr en el curtido es la cantidad de curtiente que no se fija, y que permanece en los reflujos y los lodos de depuración, lo cual impide la utilización de los materiales residuales, principalmente de este metal. La magnitud de este residual dependerá de la eficiencia del proceso particular del curtido y es determinada por algunas variables: la oferta del metal, el tiempo de operación, la temperatura y el pH del baño de curtido [2].

En estos efluentes, el Cr puede encontrarse como hexavalente Cr^{6+} (en forma de ion cromato CrO_4^{2-} o del ion dicromato $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$; o como trivalente Cr^{3+} ; este último es más estable y 1.000 veces menos tóxico que el Cr^{6+}). En la mayoría de casos, el nivel de Cr total que se encuentra en los cuerpos de agua es bajo (10 $\mu\text{g/L}$), dado que en el rango de pH en los que se encuentra el agua, el Cr^{3+} se encuentra en la forma de $\text{Cr}(\text{OH})_3$, que es insoluble. El Cr^{6+} es soluble predominando la forma de CrO_4^{2-} y donde a pH ácidos solo existe el $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Sin embargo, cuando se vierten a los ríos los efluentes, la contaminación alcanza concentraciones superiores a los 25 $\mu\text{g/L}$ [3].

La distribución del metal depende de la dinámica y características propias del cuerpo de agua, sus orígenes y la capacidad de bioacumulación por la biota, por lo que se considera que los procesos mixtos de curtición vegetal y sales de aluminio son una alternativa válida para evitar el impacto ambiental [4].

El uso del Cr como agente se debe a la calidad del cuero que se genera; las sales generan un curtido más uniforme y rápido, y se obtiene, además, una mayor superficie. En contraste con las sales de aluminio, estas hacen que el cuero se “hinche” y en ebullición se convierta en un material de consistencia gelatinosa, debido a que los complejos de Al que se unen a las proteínas se hidrolizan fácilmente. Con SiO_2 , la penetración del agente es irregular, haciendo cueros duros, de menor resistencia al desgarre y poca afinidad con los colorantes. Con agentes vegetales es lenta, tanto que puede durar desde 70 días hasta dos años [5].

La industria tiene un enorme impacto, dadas las características de los efluentes que elimina; ello determinó que se hicieran esfuerzos para el desarrollo en el área de los insumos químicos, para responder por productos menos agresivos [6].

Este enfoque implica modificar el concepto de utilización y preservación de los recursos naturales, corregir acciones de gestión productiva con escaso o ningún control, fomento en la inversión y reconversión tecnológica mediante beneficios tributarios, basados en el decreto 1594 de 1984, que establece como límite máximo permisible 0.5 mg/L de Cr^{6+} para vertimiento [7].

El aporte del metal en el curtido se distribuye así: baño de curtido 60%; escurrido y reposo 20%; recurtido 18%; y lavado final 2%. Para aumentar la fijación y disminuir la carga en los efluentes, se dispone de varios métodos, como la separación por precipitación, el reciclado del baño de curtido, el curtido de alto agotamiento y el curtido vegetal [8].

En Colombia las curtiembres usan compuestos de Cr^{6+} , altamente contaminantes, debido a los métodos y procedimientos rudimentarios. Las empresas cuentan con maquinaria obsoleta, con niveles incipientes de tecnología, poca inversión en infraestructura adecuada y operarios con baja capacitación.

En la localidad de Tunjuelito, se concentra el 90% de las curtiembres de la ciudad de Bogotá, representadas en más de 350 empresas que realizan

diferentes pasos del proceso de fabricación. A esta fuente no solamente está expuesta la población que labora en dichos establecimientos, sino la que vive alrededor, a lo que se le suman problemas de vertimientos, al río Bogotá. Estas descargas están calculadas en más de 4000 m³/día, de los cuales un 60 a 70% provienen de la preparación de la piel, un 30 al 40% del curtido y un 5 al 10% del acabado. La producción de sólidos es de 50 ton/día y los líquidos son descargados directamente a la red de alcantarillado [9].

En 2004, el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales, CNPML-TA, realizó un diagnóstico sobre el estado del sector en el país, donde se concluye que está compuesto por un 77% de microempresas, 19% de pequeñas industrias, un 3% por medianas y un 1% de gran industria; en ese año se registraron en el país cerca de 671 curtiembres, con producción de 271.000 pieles/mes [1].

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se denomina curtiembre al proceso de someter las pieles de animales a una serie de tratamientos con diversas sustancias llamadas curtientes y otras diversas operaciones, destinadas a producir en ellas modificaciones químicas y físicas, con el fin de convertirlas en material duradero, casi imputrescible, apenas permeable al agua y, a la vez, suave, elástico y flexible, o sea el cuero o la piel curtida [10]. Según autores como [8, 11, 12], el curtido comprende los pasos de desencalado, purga y piquelado. El desencalado es la preparación de las pieles mediante lavados con agua limpia, tratando de reducir la alcalinidad y removiendo los residuos de cal y sulfuro. Se utilizan aguas que contienen sulfato de amonio y ácidos, en tambores rotativos, lo cual genera parte del efluente con cargas de cal y sulfuro de sodio que, posteriormente, son procesadas en el efluente.

El piquelado se realiza en los tambores rotativos como preparación, y consiste en la acidulación

de las pieles, con el objeto de evitar el hinchamiento y para fijar las sales de Cr entre las células. Las aguas obtenidas contienen diferentes concentraciones de Cr³⁺, entre otras. El procedimiento a seguir para la depuración depende de su concentración.

Existen tres tipos de procesos, según el curtiente empleado. El curtido vegetal, que emplea taninos vegetales, se usa para la producción de suelas. Las fuentes del tanino son el extracto de quebracho y corteza de acacia negra y la mimosa. Antiguamente, las pieles eran curtidas en pozas; este proceso tomaba varias semanas. Hoy las curtiembres modernas se hacen en tambores rotativos durante 12 horas con una solución al 12%.

El curtido mineral, que emplea sales, se usa en la producción de cueros para la fabricación de calzados, guantes, ropa, bolsos, etc. Reduce el tiempo a menos, en un día, además de producir un cuero con mayor resistencia al calor y al desgaste. En este se utilizan sales de Cr; las de Mg y Al también se usan para casos especiales.

El curtido sintético, que emplea curtientes orgánicos sobre la base del formol, quinona y otros productos, es más uniforme y aumenta la penetración de los taninos. Debido a sus costos elevados, es poco usado. Se procesa el cuero para la fabricación de suela, para talabartería, correas, monturas, usos industriales y de cueros repujados.

1.1 Impactos del cromo en la salud

Para los autores [16, 18-20] se presentaron varias consideraciones. Los efectos tóxicos del Cr³⁺ son menores a los del Cr⁶⁺, conocido cancerígeno, ya que éste puede ocasionar manifestaciones agudas y crónicas en las personas que hayan estado en contacto directo.

En relación con los efectos sobre el medio ambiente acuático, el Cr³⁺ puede ser oxidado a la forma Hexavalente a un pH entre 5.5 y 6, proceso que es favorecido por la presencia de óxido de manganeso.

Los compuestos hexavalentes se absorben por vía digestiva, cutánea y respiratoria; penetran con

facilidad en el interior de los eritrocitos, se combinan con la fracción globínica de la hemoglobina, y se reducen posteriormente a estado trivalente; en esta forma tiene gran afinidad por las proteínas plasmáticas, principalmente a la transferrina. La principal vía de eliminación es la renal (80%). La ingesta produce un cuadro gastrointestinal en forma de vómitos, dolores abdominales, diarreas y hemorragias intestinales. Se han descrito casos de muerte, por colapso cardiocirculatorio; si el paciente sobrevive, puede aparecer una insuficiencia renal aguda.

La vía de absorción cutánea es de más fácil acceso al organismo, frente a lo cual cabe destacar el cuadro patológico de la dermatitis alérgica de contacto. En esta los compuestos de Cr^{6+} penetran en la piel más rápidamente que los compuestos de Cr^{3+} ; la penetración de los cromatos aumenta con el incremento de pH dependiendo de la naturaleza del anión y la integridad de la epidermis que forma la barrera más importante para la absorción de estos productos, ya que la piel y sus componentes facilitan la reducción de los cromatos y el Cr^{3+} se une fuertemente.

Los valores límite y en medios biológicos para estos compuestos han sido propuestos por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), la NIOSH, la OSHA y otros. Para nuestra región, la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá reporta valores de referencia para población general hasta 10 $\mu\text{g/L}$ y para población Expuesta hasta 20 $\mu\text{g/L}$.

En muchos casos se presenta la intoxicación crónica, que es el contacto cutáneo con compuestos hexavalentes que producen úlceras de 5 a 10 mm, no dolorosas, que suelen afectar el dorso de las manos y de los dedos; reciben el nombre de úlceras en “nido de paloma”. También pueden ocasionar dermatitis de contacto irritativas y alérgicas; como también, la exposición se relaciona con cuadros de bronquitis y de asma, ulceraciones y perforaciones nasales.

Por regla general la contaminación en el agua superficial y de los sedimentos no suele repercutir

de forma peligrosa en los niveles del agua subterránea, debido a la retención de las partículas del suelo durante el proceso de infiltración. No obstante, en ocasiones se ha observado contaminación por Cr^{6+} en estas.

Respecto a esto, la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA), advirtió que el Cr, Ar, Pb y los sulfuros que utilizan las curtiembres causan severos daños como la leucemia. Los compuestos Cr^{6+} pueden absorberse por ingestión o inhalación, produciendo un efecto irritante inmediato y ulceraciones. Estas producen la necrosis del tejido circundante llegando a perforar el tabique. La intoxicación en trabajadores expuestos al contacto puede producirse por la inhalación de polvo y humos procedentes de la fabricación del dicromato. También, puede producirse durante la soldadura del acero inoxidable, el contacto con cemento, cuero, materiales de la industria gráfica, curtido de pieles y varios tipos de trabajo con metales. Existen numerosos trabajos que describen la interacción del Cr con proteínas del sistema inmune, formando complejos antígeno-anticuerpo. Esto explica la localización de las lesiones alrededor de las glándulas sudoríparas y por qué cantidades muy pequeñas de dicromato pueden producir sensibilización.

En cuanto a los efectos carcinogénicos, se ha descrito un aumento de la incidencia en los pulmones, en trabajadores expuestos durante 15 años o más. Los cromatos de Zn y Ca parecen ser los más cancerígenos y se cuentan entre los más potentes en humanos. La exposición intensa a los compuestos ha producido una incidencia muy elevada de cáncer de pulmón.

1.2 Impacto del cromo en los ecosistemas

Para [18], en los ecosistemas acuáticos, el Cr^{6+} se encuentra principalmente en forma soluble, que puede ser lo suficientemente estable como para ser transportado por el agua. Sin embargo, éste finalmente se convierte en Cr^{3+} mediante la reducción de especies tales como las sustancias orgánicas, el

ácido sulfhídrico, el azufre, el sulfuro de hierro, el amonio y el nitrito. Por lo general, esa forma trivalente no migra de manera significativa sino que se precipita rápidamente y se adsorbe en partículas en suspensión y sedimentos del fondo. Se ha comprobado que se acumulan en muchas especies acuáticas, especialmente en peces que se alimentan del fondo, como el bagre (*Ictalurusnebulosus*), en los bivalvos, como la ostra (*Crassostrea virginica*), el mejillón azul (*Mytilus edulis*) y la almeja de caparazón blando.

En los suelos, el Cr^{3+} es relativamente inmóvil debido a su gran capacidad de adsorción en los suelos, pero el Cr^{6+} es muy inestable. Las reacciones redox afectan la biodisponibilidad y la toxicidad del mismo. La oxidación puede ocurrir en presencia de óxidos de Fe y Mg, en suelos frescos y húmedos (anaeróbicos) y en condiciones levemente ácidas. La reducción puede ocurrir en presencia de sulfuros y Fe (II) (condiciones anaeróbicas) y se acelera en presencia de materia orgánica. Debido a esta razón, aunque el Cr^{3+} (en muy bajas dosis) constituye un microelemento esencial en los animales, el Cr^{6+} es no esencial y tóxico en concentraciones bajas; por lo cual deben controlarse las actividades antrópicas que liberan Cr^{3+} . Aun cuando se libera al ambiente, no existe garantía alguna de que permanezca en ese estado químico. Por ejemplo, la práctica de depositar residuos en rellenos sanitarios con contenido de Cr^{3+} provenientes de curtiembres, junto con otros desechos industriales ácidos o con desechos cloacales, que crean condiciones ácidas al descomponerse, puede transformar el Cr^{3+} en Cr^{6+} .

1.3 Tecnología para remoción de Cr con intercambio iónico

El contacto entre iones de ciertos materiales genera un intercambio de los mismos en una solución de contacto. Esta capacidad la tienen algunas sustancias artificiales y naturales; las primeras son resinas de intercambio iónico constituidas por un polímero orgánico al que se le incluyen grupos ionizables, específicos, de modo que pueden

modificarse las características de capacidad y velocidad de intercambio junto con la selectividad de materiales. Estas resinas se utilizan en purificación de aguas y tratamiento de aguas residuales, con el fin de concentrar ciertos reactivos y recuperarlos para su uso posterior. Para el caso particular de la remoción del Cr la técnica se realiza mediante la oxidación de Cr^{6+} a Cr^{3+} para su posterior fijación en la columna de intercambio iónico con una resina básica. Otra sustancia apropiada para propósitos de intercambio iónico es la alúmina activada que contribuye a la retención de iones inorgánicos de soluciones acuosas, y se puede comportar como intercambiador catiónico en medio básico y aniónico en medio ácido [19].

1.4 Precipitación

Para [20], la recuperación de Cr por este método, se lleva a cabo una reacción de precipitación de Cr^{3+} como $\text{Cr}(\text{OH})_3$ posteriormente disolviéndolo con H_2SO_4 . Esta relación puede ejecutarse con cualquier ácido que incremente el pH hasta un valor de 9. La solubilidad del $\text{Cr}(\text{OH})_3$ en agua es 1.24×10^{-8} M, luego se puede recuperar con baños agotados hasta el 99%, controlando la redisolución del precipitado. Para estos casos los agentes precipitantes más utilizados en pruebas son el hidróxido de sodio por adición en solución acuosa, hidróxido de calcio por adición sólida estequiométrica y urea, todos agitados mecánicamente a temperatura de 80 grados centígrados.

Los parámetros que se tienen en cuenta para calcular la eficiencia de cada agente precipitante son el tiempo de decantación, el volumen del precipitado (altura en el vaso de precipitados), el contenido de material en el filtrado obtenido y el contenido de éste en el precipitado seco.

1.5 Materiales adsorbentes

El hidróxido de Cr obtenido, transformado en sulfato de Cr monobásico, puede reutilizarse en el

procesamiento del cuero como sal curtiente. Para el hidrolizado de colágeno se evaluó la disminución del contenido de Cr por medio de variación del pH en el proceso de hidrólisis alcalina de las virutas y el uso de materiales adsorbentes como bentonita, biomasa de alfalfa y sorgo, carbón activado, entre otros. El contenido de materia orgánica y sólidos en los baños desgastados afecta de manera significativa la remoción y recuperación del Cr^{3+} .

La formación de CO_2 debido al uso del carbonato dificulta la separación del precipitado; esto ocasiona largos tiempos de sedimentación y es una desventaja en la operación comparado con el uso de los hidróxidos. En el proceso de precipitación-sedimentación, simultáneamente con la remoción del Cr se puede llegar a obtener una disminución de la concentración de los sólidos suspendidos y de la DQO.

1.6 Biomateriales

Los procesos de remoción de metales por biomateriales están basados en la natural y fuerte afinidad de sus componentes celulares por los iones metálicos. En estos, el uso de sistemas inactivos puede presentar varias ventajas, ya que no requieren de un pretratamiento con nutrientes para mantener su actividad. Con biomasa inmovilizada también han probado ser de utilidad en la remoción y recuperación de metales en sistemas continuos.

Este tipo de tecnologías es novedoso y su desarrollo puede ser particularmente competitivo en el tratamiento de efluentes industriales, ya que permiten la recuperación de los metales, la reutilización de la biomasa y el agua.

1.7 Biotecnología

Esta nueva metodología está basada en técnicas biotecnológicas, donde se pretende tratar las aguas residuales mediante el secuestro específico del Cr por hongos acidófilos para posteriormente proce-

der a su separación. Los hongos se desarrollan en medio ácido, en presencia de Cr; después de la inducción al medio son capaces de secuestrarlo y, por lo tanto, de eliminarlo. De los primeros estudios realizados se deduce que existen posibilidades para su aplicación a aguas residuales de curtición [21].

1.8 Electrocoagulación

La electrocoagulación es un método electroquímico usado para el tratamiento de aguas residuales que ha sido utilizado para remover un amplio número de contaminantes. Éste ha logrado ser comercializado, pero ha sido poco estudiado, a pesar de que tiene un gran potencial para eliminar las desventajas de los tratamientos clásicos para aguas residuales. Implica varios fenómenos químicos y físicos, y usa electrodos para proveer iones al agua residual que se desea tratar. Según los autores [22-24] en esta técnica el coagulante es generado '*in situ*', debido a una reacción de oxidación del ánodo. Las especies cargadas o metales pesados pueden ser removidos del efluente debido a la reacción entre iones con carga opuesta o a la formación de flóculos de hidróxidos metálicos. Las etapas implican que debido a la oxidación del electrodo se presenta la formación de coágulos: desestabilización del contaminante, partículas en suspensión y rompimiento de emulsiones; formación de flóculos agregando partículas desestabilizadas; y remoción del material contaminante por flotación y sedimentación.

En esta técnica cuando un potencial es aplicado a los electrodos, los cuales son hechos de diferentes metales, especialmente Fe y Al, se genera el siguiente proceso: - el metal del ánodo se disuelve dando origen a iones metálicos, los cuales son hidrolizados inmediatamente para formar hidróxidos o polihidróxidos; estas sustancias son excelentes agentes coagulantes;

- la coagulación ocurre cuando estos cationes (hidróxidos y polihidróxidos) son atraídos por las partículas negativas presentes en la solución;

- los contaminantes presentes en el agua residual son tratados por medio de reacciones químicas y precipitación o combinación con material coloidal;
- para después ser removidos por electroflotación, sedimentación o filtración.

1.9 Membranas

Es un proceso novedoso, bastante costoso, que tiene por finalidad separar el agua de las sales inorgánicas a través de una membrana que permite el paso del agua; impide el paso de las sales; trabaja a presiones entre 400 y 800 psi, generadas por bombas a fin de impulsar el agua para que pase a través de una membrana y deje tras sí el líquido. Las membranas son de acetato de celulosa y su costo puede representar más del 50% del costo del equipo; este procedimiento es muy sensible a las variaciones bruscas de temperaturas.

2 CONCLUSIONES

Para los procesos que utilizan sustancias con contenidos de Cr, es pertinente evaluar las ventajas que podrían prestar los diferentes tratamientos, como los expuestos en esta revisión, con el objeto de minimizar la carga contaminante que se vierte al sistema de alcantarillado.

La toxicidad de los compuestos afecta la salud pública, cuando las concentraciones superan las dosis que el organismo puede eliminar; por esta razón debe contemplarse la información de los impactos en el hombre y en los ecosistemas descritos, con el objeto de concienciar al gremio industrial sobre el uso de las tecnologías de tratamiento en sus procesos.

Con respecto a las tecnologías antes mencionadas se puede concluir que son opciones que representan una relativa facilidad de implementación; y con el tiempo de su aplicación, la industria de la curtición podría disminuir considerablemente la contaminación, operar de una forma más segura,

iniriendo en responsabilidad social empresarial tanto con el medio ambiente como con sus trabajadores, con mayores eficiencias de producción.

REFERENCIAS

- [1] A. M. Alzate Tejada. "Proyecto Gestión Ambiental en la industria de Curtiembre en Colombia. Diagnóstico y estrategias", 26 julio, 2008; Disponible: <http://www.tecnologiaslimpias.org/Curtiembres/EstrategiasDiagnostico.pdf>.
- [2] J. Sánchez, y E. Lujano, "Desarrollo de un Proceso para la Remoción y Recuperación de Iones Cr (III) en Efluentes de Tenerías", presentado en XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000.
- [3] J. Tapia *et al.*, (2002), "Estudio de reducción fotocatalizada de cromo hexavalente", *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, [Artículo electrónico], vol. 47, (no. 4), http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0366-16442002000400018&script=sci_arttext.
- [4] M. F. Benejam, y R. O. Pujol, "Reducción de la contaminación en la curtición al Cromo", *Revista Ingeniería Química*, no. 365, pp. 172-181, 2000.
- [5] E. Gratacós *et al.*, *Tecnología química del cuero*, Barcelona: Emporium, 1962.
- [6] E. Marañón, *Residuos industriales y suelos contaminados*, Guijón: Universidad de Oviedo, 2000
- [7] *Decreto 1594 de 1984. Uso del Agua y Residuos líquidos*, 1984.
- [8] Cuaronet. "Estudio de gestión ambiental en una empresa de curtiembre", Febrero, 2010; Disponible: <http://www.cuaronet.com/tecnica/normasiso14000cap4.htm>.
- [9] R. Raigoso, "Los curtiembres se sintonizan con el medio ambiente", *Diario La República*, 2003.
- [10] Quimipiel, *Manual técnico para la ingeniería del cuero*, Bogotá: Editorial Igratal Ltda, 2000.
- [11] Ecosystem. "Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación", Febrero, 2010; Disponible: <http://ecofield.com.ar/blog/?p=317>.
- [12] E. Esparza, y N. Gamboa, "Contaminación debida a la industria curtiembre", *Revista de Química*, vol. 15, no. 1, pp. 41-63, 2001.
- [13] F. J. Alguacil *et al.*, "Recuperación de Cr (VI) mediante extracción con membranas líquidas soportadas",

- presentado en Iberomet IX. Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales, La Habana, 2006.
- [14] E. González Fernández, "Toxicocinética y evaluación de riesgos para la salud producidos por la exposición a los compuestos de cromo", *Medicina y seguridad en el trabajo*, vol. 38, pp. 3-27, 1991.
- [15] R. Lauwerys *et al.*, *Toxicologie Industrielle et intoxications professionnelles*, 5ª ed., Paris: Elsevier Masson SAS, 1997.
- [16] W. E. Rinehart, y S. C. Gad, "Current Concepts in Occupational Health: Metals - Chromium", *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 47, no. 11, pp. 696-699, 1986.
- [17] ACGIH. "Threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices", agosto, 2008; Disponible: <http://www.acgih.org/TLV/>.
- [18] Lenntech. "Efectos ambientales del cromo", agosto, 2008; Disponible: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm#Efectos%20ambientales%20del%20Cromo>.
- [19] P. Rana *et al.*, "Electrocheical removal of chromium from wastewater by using carbon aerogel electrodes", *Water research*, vol. 38, pp. 2811-2820, 2004.
- [20] N. Rajesh, y K. Yogesh, (2001), "Surfactant enhanced chromium removal using a silica gel column", *Universitas Scientarum*, [Artículo electrónico], vol. 6, (no. 1), <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/499/49911595006.pdf>.
- [21] R. Amils *et al.*, "Aplicaciones biotecnológicas para la recuperación de Cr (III) a partir de efluentes de curtición", presentado en XVI Congreso Latinoamericano de Químicos y técnicos de la Industria del Cuero, Buenos Aires, 2004.
- [22] M. C. Kitchen Fabre, "Evaluación técnica preliminar de la reducción de cromo hexavalente por medio de un proceso electrolítico", Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Bogotá, 2005.
- [23] M. Y. A. Mollah *et al.*, "Electrocoagulation (EC) - Science and applications", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 84, no. 1, pp. 29-41, 2001.
- [24] S. A. Martínez *et al.*, "Removal of chromium hexavalent from rinsing chromating waters electrochemical reduction in a laboratory pilot plant " *Water Sci Technol.*, vol. 49, no. 1, pp. 115-122, 2004.

